

**И. В. Соловьев\*, В. В. Щучинов**

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

\*igor.solovyev@urfu.ru

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук О. Ю. Корниенко

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ Cr–Mo–V СТАЛЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Изучены возможности повышения комплекса механических свойств конструкционных низколегированных хромомолибденованадиевых сталей в процессе отпуска (вторичное твердение). Изучено влияние температурно-временных параметров закалки и отпуска на структуру сталей.

*Ключевые слова:* трубная сталь, аустенитное зерно, кинетика, твердость, размер зерна, микроструктура, карбидообразующие элементы, специальные карбиды.

**I. V. Solovyov, V. V. Shchuchinov**

## **FORMATION OF STRUCTURE AND CR–MO–V STEEL PROPERTIES AS A RESULT OF THERMAL INFLUENCE**

Possibilities of increase in a complex of mechanical properties constructional low-alloyed CR–MO–V steels in the course of the heat treatment (secondary curing) are studied. Influence of temperature temporary parameters of heat treatment on structure steels is studied.

*Key words:* steel, austenitnoe grain, kinetics, hardness, grain size, microstructure, karbidoobrazujushhie elements, special carbides.

**К**онструкционные низколегированные Cr–Mo–V стали являются широко используемыми в различных отраслях промышленности материалами благодаря возможности получения различного уровня свойств в результате формирования необходимого структурного и фазового состояния методами термической и термомеханической обработок [1–3]. Надежность материала характеризуется конструктивной прочностью — комплексом механических свойств, находящихся в корреляции с условиями работы изделий.

Низколегированные Cr–Mo–V стали используются для изготовления труб малого и большого диаметров в энергетике. Характерным для

жаропрочных сталей, содержащих ванадий, является их сложная технологическая обработка, обусловленная доминирующим влиянием дисперсионной фазы на механические свойства таких сталей. Параметры дисперсионной фазы являются очень чувствительными к тепловой обработке. Ключевую роль в Cr—Mo—V сталях играют карбиды ванадия и карбонитриды, которые в основном выделяются при отпуске, поэтому для назначения точных температурно-временных параметров термической обработки необходимо изучение структурообразования и соответственно изменение механических свойств при отпуске [4].

Материалом исследования в данной работе служили стали 22Х1МФА, 26Х1МФА промышленной выплавки. Плавочный химический состав сталей приведен в табл. 1.

*Таблица 1*

**Химический состав сталей 22Х1МФА и 26Х1МФА**

Марка стали	C	Cr	Mo	V	Mn	Si	Ni	Ca	Al	N <sub>2</sub>	P	S
26Х1МФА	0,26	1,6	0,43	0,08	0,62	0,25	0,09	0,0028	0,026	0,0110	0,009	0,006
22Х1МФА	0,22	1,3	0,41	0,08	0,58	0,27	0,10	0,0028	0,026	0,0110	0,008	0,003

В работе были поставлены следующие задачи:

- изучение возможности повышения комплекса механических свойств конструкционных низколегированных хромомолибденованадиевых сталей в процессе отпуска (вторичное твердение);
- изучение влияния температурно- временных параметров закалки и отпуска на структуру сталей.

С целью исследования влияния температуры аустенитизации на размер аустенитного зерна и для изучения влияния температуры аустенитизации на механические свойства сталей 22Х1МФА, 26Х1МФА материал нагревали до температур 850, 890, 930, 940 и 1000 °С, выдерживали 40 мин, охлаждали в воде. Отпуск проводили при температурах 570, 620, 670 °С в течение 1, 2, 4, 8 ч.

Для изучения влияния температурно-временных параметров на структуру и свойства сталей 22Х1МФА и 26Х1МФА проводили термообработку по следующим режимам (рис. 1).

Температура аустенитизации и скорость охлаждения аустенита определяют тип и морфологию выделяющихся фаз и, следовательно, комплекс свойств металла. В процессе охлаждения аустенит исследуемых сталей претерпевает превращение с образованием гетерогенных мартенсито-бейнитных структур с различным соотношением и морфо-

логией структурных составляющих. В сталях при охлаждении формируется структура, состоящая из мартенсита и нижнего бейнита. Повышение температуры аустенитизации приводит к некоторому увеличению устойчивости переохлажденного аустенита, и при тех же скоростях охлаждения возрастает доля низкотемпературных продуктов распада в структуре и твердость материала.

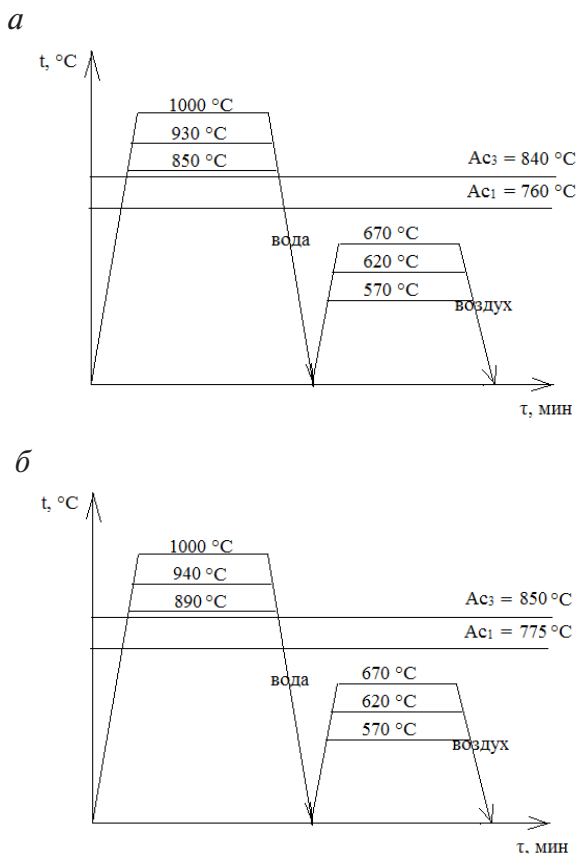


Рис. 1. Схема термической обработки сталей:  
а — 26Х1МФА, б — 22Х1МФА

Во всем исследованном интервале температур отпуска после 2-х часовой выдержки происходит падение твердости. Величина падения тем больше, чем выше температура отпуска. Отпуск вызывает превращение остаточного аустенита в бейнит и дисперсионное твердение в результате частичного распада мартенсита и выделения дисперсных карбидов, главным образом это сопровождается увеличением твердости.

Явление вторичной твердости, обнаруженное после отпуска при температуре 620 °С и времени выдержки 2 ч, пик которой появляется

при 0,1–0,2 % V или 0,08–0,12 % Mo или 2,5–3,0 % Cr вследствие выделения специальных карбидов этих элементов.

По результатам исследования сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что температура аустенизации стали 22Х1МФА (890–1000 °С) приводит к обогащению аустенита хромом, молибденом и углеродом за счет растворения карбидных фаз, это повышает устойчивость переохлажденного аустенита по диффузионному механизму и приводит к формированию мартенситно-бейнитной структуры в результате охлаждения в воде. Установлено, что формирование в процессе охлаждения гетерогенной мартенситно-бейнитной структуры приводит к высокому значению твердости до 46 HRC в стали 22Х1МФА.

2. Исследовано влияние температуры и продолжительности отпуска стали 22Х1МФА. Установлено, что при повышении температуры от 570 до 670 °С происходит снижение твердости от 35 до 22 HRC. Установлено, что при температуре отпуска 620 °С и времени выдержки 2 ч происходит рост значений твердости от 30 до 35 HRC, что, вероятно, связано с выделением специальных карбидов молибдена, хрома.

3. Установлено, что температура аустенизации стали 26Х1МФА (850...1000 °С) приводит к обогащению аустенита хромом, молибденом и углеродом за счет растворения карбидных фаз, это повышает устойчивость переохлажденного аустенита по диффузионному механизму и приводит к формированию мартенситно-бейнитной структуры в результате охлаждения в воде. Установлено, что формирование в процессе охлаждения гетерогенной мартенситно-бейнитной структуры приводит к высокому значению твердости до 50 HRC в стали 26Х1МФА.

4. Исследовано влияние температуры и продолжительности отпуска стали 26Х1МФА. Установлено, что при повышении температуры от 570 до 670 °С происходит снижение твердости от 37 до 28 HRC. Установлено, что при температуре отпуска 620 °С и времени выдержки 2 ч происходит рост значений твердости от 34 до 39 HRC, что, вероятно, связано с выделением специальных карбидов молибдена, хрома.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали : учебник. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
- 2 Солнцев Ю. П. Хладостойкие стали и сплавы : учебник. М. : Химиздат. 2005. 480 с.
- 3 Скороходов В. Н., Одесский В. Н., Рудченко А. В. Строительная сталь : учебник. М.: Металлургиздат. 2002. 624 с.
- 4 Новиков И. И. Теория термической обработки металлов : учебник. М. : Металлургия, 1986. 480 с.